

II-149 二次流の掃流力への影響評価について

九州大学 工学部 正 員 〇 大本 照憲

九州大学 工学部 正 員 平野 宗夫

三和銀行

岡本 竜一

1. まえがき

二次流による横断面内の運動量輸送が無視し得ない流れ場において、二次流の効果を適切に反映した掃流力の算定法は皆無に等しい。著者等は、前報¹⁾²⁾において縦筋河床の形成領域、横断形状および乱れの三次元構造について検討を行った。本研究では、二次流の掃流力への影響を評価するため、流れの運動方程式を基礎式とし、縦筋河床の横断形状、流れの平均特性量および乱れ特性量については前報の実測データを参照した近似式を適用することによって、主流方向の掃流力が算定され、その分布特性が考察された。なお、二次流を安定化させるため、縦筋河床を模擬した固定波面が作製され、その上で流速変動が測定された。

2. 掃流力の計算方法

(A) 基礎方程式：主流方向に一樣な開水路流れの運動方程式において、粘性項を無視し、平均圧力に静水圧分布を仮定して、 y 軸に関して河床から自由水面まで積分すれば、主流方向の掃流力 τ_{xx} は次のように表される。 $1/\rho \cdot \tau_{xx}/\cos\theta = g \cdot S \cdot H(z) + d/dz \int_{-b}^b (-\overline{u^2 w^2}) dy - d/dz \int_{-b}^b U W dy \dots (1)$

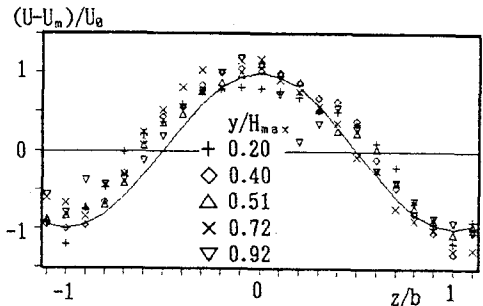
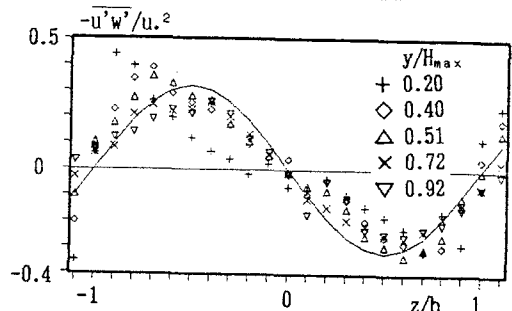
(B) 掃流力を規定する特性量：主流方向の掃流力は、河床の横断形状、流れの平均特性量 $U(y, z)$ 、 $W(y, z)$ および乱れの特性量 $-\overline{u^2 w^2}$ が与えられれば、式(1)により算定が可能となる。縦筋河床の横断形状に関しては実測値と比較的適合性の良い次式 $Y/\Delta = (H_{max} - H)/\Delta = \{1 - \cos(\tan\phi \cdot (z - z_c)/H_{max})\} / \{1 - \cos(\tan\phi \cdot b/H_{max})\} \dots (2)$ を用いる。図-1は、レイノルズ応力 $-\overline{u^2 w^2}$ の横断分布を示す。ここに、 $z/b=0$ はSand Troughに $z/b = \pm 1$ は Sand Ridgeに対応する。図中の実線は $-\overline{u^2 w^2}$ を近似するためにsine関数を適用したもので、次式によって与えられた。 $-\overline{u^2 w^2} = -a(y) \cdot \sin(\pi z/b) \dots (3)$

ここに、 $a(y)$ ：河床からある高さ y における $-\overline{u^2 w^2}$ の極大値である。図-2は、無次元化された平均主流速の横断分布を示したものである。図中の実線は $U(y, z)$ にcosine関数を適用したもので次式から求められる。 $U(y, z) = U_m(y) + U_0(y) \cdot \cos(\pi z/b) \dots (4)$

また、 U_m に対して対数則を仮定すれば、 $U_m(y) = 1/\kappa \cdot U_* \cdot \ln\{A_r \cdot y/H(z)\}$ 、 $U_* = (g \cdot H_m \cdot I_0)^{1/2} \dots (5)$ となる。ここに、 κ ：Karman定数、 A_r ：粗度の関数、 H_m ：縦筋間の平均水深である。図-3は、横断方向の平均流成分 $W(y, z)$ をその振幅 $W_0(y)$ で無次元化した $W(y, z)/W_0(y)$ の横断分布を示したものである。図中の実線および破線は、各々、実測値 $W(y, z)/W_0(y)$ にsine関数を適用したもので、 $W(y, z)$ は次式から得られる。 $W(y, z) = W_0(y) \cdot \sin(\pi z/b) \dots (6)$

ここに、 $W_0(y)$ ：河床からある高さ y における W の振幅である。

(C) 掃流力の計算式：式(2)～(6)を式(1)に代入し若干の演算を行えば、 τ_{xx} は次式から求められる

図-2 平均主流速 $(U-U_m)/U_0$ の横断分布図-1 レイノルズ応力 $-\overline{u^2 w^2}$ の横断分布

$\tau_{xx}/\rho g S H_{max} = a_{x0} + a_{x1} + a_{x2} \dots (7)$ 式(7)の右
 辺の各項は、各々、 $a_{x0} = \cos \theta \{1 - \varepsilon (1 - \cos(\beta \xi))\}$,
 $a_{x1} = -\alpha_1 (H_{max}/b) \cos \theta [\pi \cos(\pi \xi) - \varepsilon \{\beta \sin(\beta \cdot$
 $\xi) \sin(\pi \xi) + \pi \cos(\pi \xi) (1 - \cos(\beta \xi))\}]$, $a_{x2} =$
 $\alpha_2 (H_{max}/b) \cos \theta [-\varepsilon \beta \sin(\beta \xi) + \pi \{1 - \varepsilon (1 - \cos(\beta$
 $\xi))\} \cos(\pi \xi)]$ によって与えられる。ここに、
 $\xi = z/b$, $U_0 = (g I_e H_{max})^{1/2}$, $\beta = \tan \phi \cdot b/H_{max}$, $\varepsilon = (\Delta/H_{max})/(1 - \cos \beta)$ である。また、 α_1, α_2 および $\cos \theta$ は、
 各々、 $\int_0^1 a(\eta) d\eta = \alpha_1$, $\int_0^1 U_m(\eta) W_0(\eta) d\eta =$
 $-1/\kappa \cdot W_0 \cdot U_0 \cdot \ln 2 = -\alpha_2$ および $\cos \theta = 1/[1 + (dH/dz)^2]^{1/2} = 1/[1 + \{\varepsilon \tan \phi \sin(\beta z/b)\}^2]^{1/2}$ である。
 式(7)の右辺第一項 a_{x0} は Vertical Depth Methodに相
 当する掃流力、右辺第二項 a_{x1} はレイノルズ応力の掃流
 力への寄与および右辺第三項 a_{x2} は、 U_m と W_0 との相互
 作用によって生ずる掃流力である。

3. 計算結果と考察

α_1 および α_2 は何れも縦渦、縦筋の発達程度に応じ
 て異なる変数である。今回の実験条件では、 $\Delta/b = 0.14$
 $\alpha_1 = 0.22$, $\alpha_2 = 0.3$ であった。以下において、式(7)の
 右辺の各項の掃流力への寄与について検討する。図-4
 は、式(7)の 右辺第二項 a_{x1} の計算結果を示す。

レイノルズ応力 $-\overline{u'w'}$ は主流方向の掃流力を Sand
 Trough で減少させ Sand Ridge では増加させる働き
 のあることがわかる。図-5は、式(7)の右辺第三項
 a_{x2} の計算結果である。主流方向の平均運動量が二次
 流の横断方向成分によって輸送されたことによる主流
 方向の掃流力への影響が示されている。図から a_{x2} は、
 τ_{xx} を Sand Trough では大きく、Sand Ridge では小
 さくさせる効果がある。図-6の実線は、式(7)で求め
 られた τ_{xx} を $z=0$ における掃流力で無次元化された主
 流方向の掃流力の横断分布を表す。図中の破線は、
 Vertical Depth Method により求められた無次元掃流
 力を示す、Reynolds応力と二次流の影響は逆位相の関
 係にあるが、二次流の影響の方が卓越するため、Sand
 Troughでは掃流力が大きく、Sand Ridgeで小さくなる
 ことが認められる。

<参考文献>

- 1) 大本照憲, 平野宗夫: 土木学会論文集, No. 399, II-
10, 1988, pp. 75~84
- 2) 大本照憲, 平野宗夫, M.S. Pallu: 第33回水理講演会
論文集, pp. 529~534, 1989.

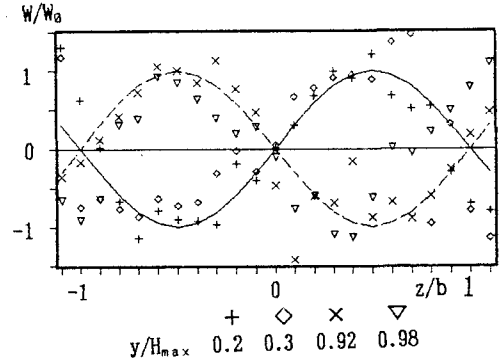


図-3 二次流 W/W_0 の横断分布

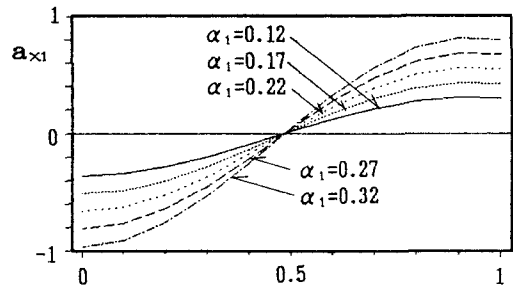


図-4 a_{x1} の横断分布

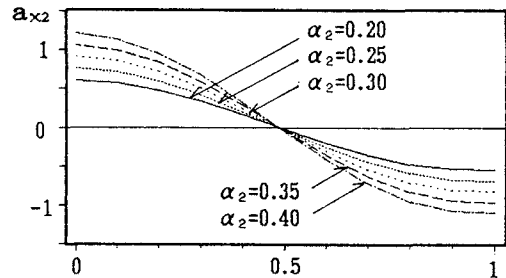


図-5 a_{x2} の横断分布

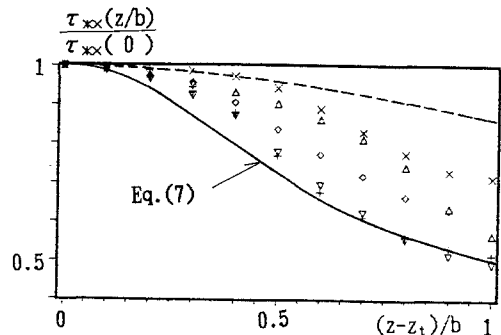


図-6 τ_{xx} の横断分布